

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001280973  
PUBLICATION DATE : 10-10-01

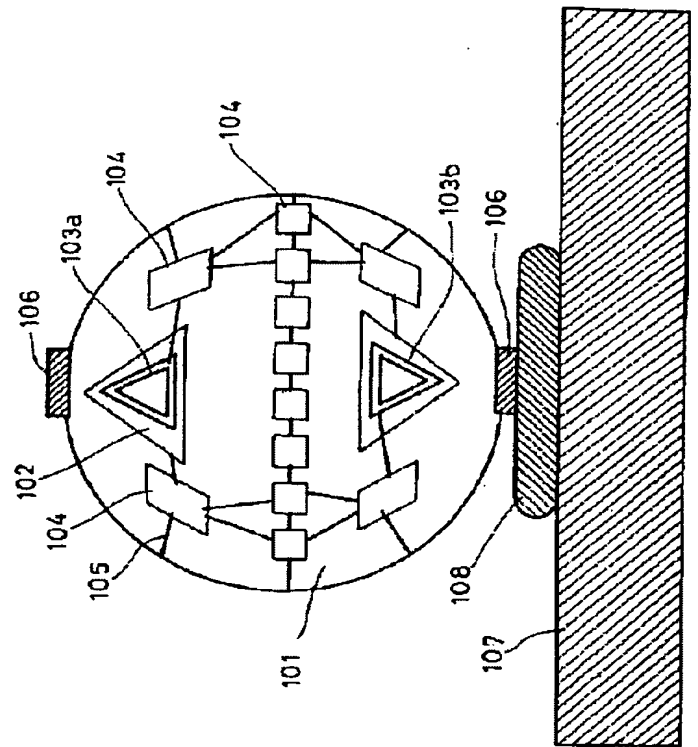
APPLICATION DATE : 31-03-00  
APPLICATION NUMBER : 2000099296

APPLICANT : CANON INC;

INVENTOR : UCHIDA MAMORU;

INT.CL. : G01C 19/66 H01S 3/083

TITLE : THREE-DIMENSIONAL RING LASER  
DEVICE AND GYROCOMPASS USING  
THE SAME



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a three-dimensional ring laser used for a gyro, etc., and capable of detecting directions.

SOLUTION: Semiconductor ring lasers and electronic circuits in a prescribed pattern are formed on a plurality of crystalline planes crossing each other on a surface of a three-dimensional substrate such as a spherical Si substrate, thus providing a small-sized, three-dimensional ring laser having drive circuits and capable of processing data, and a gyrocompass using the same.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-280973

(P2001-280973A)

(43) 公開日 平成13年10月10日 (2001. 10. 10)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

G 0 1 C 19/66

G 0 1 C 19/66

2 F 1 0 5

H 0 1 S 3/083

H 0 1 S 3/083

5 F 0 7 2

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-99296(P2000-99296)

(22) 出願日 平成12年3月31日(2000. 3. 31)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 内田 護

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

(74) 代理人 100065385

弁理士 山下 穰平

Fターム(参考) 2F105 BB00 BB13 DD07

5F072 AB13 AK07 FF09 GG09 LL08

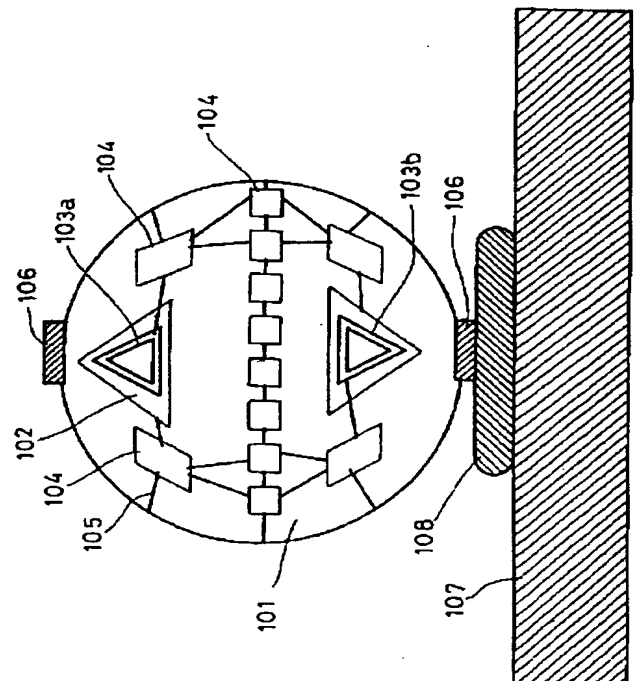
LL18 YY12

(54) 【発明の名称】 3次元リングレーザ装置およびこれを用いたジャイロ・コンパス

(57) 【要約】

【課題】 ジャイロなどの方位検知が可能な3次元リングレーザを提供する。

【解決手段】 立体基板、例えば、球状のSi基板の表面で、互いに交差する複数の結晶面において、半導体リングレーザを、また、所定のパターンで、基板上に電子回路を、それぞれ、形成し、小型で、駆動回路およびデータ処理が可能な、3次元リングレーザおよびこれを用いたジャイロ・コンパスを提供する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 三次元的表面を有する半導体基板に形成された、互いに交差する複数の結晶面（平面）において、それぞれ、半導体リングレーザを構成すると共に、前記半導体リングレーザを駆動あるいは信号処理する電子回路を、前記半導体基板に集積・形成していることを特徴とする3次元リングレーザ装置。

【請求項2】 前記半導体基板が、球体、多面体、あるいは、これに準ずる形態のSiで構成されており、その（111）面に等価な面において、前記結晶面が形成されており、前記結晶面に、少なくとも1つの半導体リングレーザが形成されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元リングレーザ装置。

【請求項3】 前記半導体基板が、球体、多面体、あるいは、これに準ずる形態のSiで構成されており、その（100）面に等価な面において、前記結晶面が形成されており、前記結晶面に、少なくとも1つの半導体リングレーザが形成されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元リングレーザ装置。

【請求項4】 前記半導体基板が、球体、多面体、あるいは、これに準ずる形態のSiで構成されており、その（111）面および（100）面にそれぞれ等価な面において、前記結晶面が形成されており、前記結晶面に、少なくとも1つの半導体リングレーザが形成されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元リングレーザ装置。

【請求項5】 前記半導体リングレーザは、その構成材料の一部に、GaAs、GaInAs、AlInAs、GaInAsPなどのIII-VN半導体材料が使用されていることを特徴とする請求項1に記載の3次元リングレーザ装置。

【請求項6】 請求項1ないし5の3次元リングレーザ装置で構成され、複数の結晶面上に構成された半導体リングレーザ相互の傾きによって、三次元方位を検出するように構成されているジャイロ・コンパス。

【請求項7】 シリコン球面上に半導体リングレーザを有することを特徴とするレーザ装置。

【請求項8】 請求項7に記載のレーザ装置を用いたことを特徴とするジャイロ・コンパス。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主として、方位センサ、特に、ジャイロ・コンパスなどの計測器に適用される3次元リングレーザ装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体リングレーザ装置は、コンパクトかつ低価格で作製できる潜在性を持つため、計測器、特に、ジャイロ・コンパスなどへの応用が期待されている。

【0003】半導体リングレーザとしては、例えば、J.

J.Liangらによる“Unidirectional operation of waveguide ring lasers” (Applied Physics Letters, 70(10), pp1192-1194(1997))が報告されている。図11はその模式図である。図中、801は基板、802はリッジ型導波路、803はコーナーミラー、804は光取り出し用劈開面である。また、805は、2本のリングレーザモードに損失差を与えるためのテーパー導波路である。ここでは、リッジ導波路802上の電極（図示せず）からキャリアが注入され、活性層で発光した光は、利得を受けながら周回し、損失を上回る利得を与える（キャリア注入量を大きくする）ことで、リングレーザモードで発振する。

【0004】諸々の構造体の回転運動の姿勢制御センサとして、ジャイロ・コンパスはキーデバイスとして重要である。航空機や人工衛星などでは、振動ジャイロやガスレーザジャイロが使用されているが、今後、自動車や産業機器は勿論、ゲーム機や医療機器など、新規な領域に積極的に使用されることが予想される。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】この半導体リングレーザは、所謂、半導体プロセスで形成するため、一般のファイバ・ジャイロに比べて小型であること、光学部品の位置合わせなどを必要としない利点がある反面、以下の問題点がある。

【0006】第1に、回転ジャイロとして用いる場合、三方位を検知するためには、少なくとも、互いに異なる方位での2軸が必要であり、これを実現するには、それぞれ、半導体リングレーザを構成した基板を、立体的に実装する必要がある（これは、通常の回転ジャイロで、一般に当てはまることである）。

【0007】また、第2に、半導体リングレーザを組み合わせて、回転ジャイロとして、駆動および信号処理する回路を、各基板とは別途に用意する必要があるが、これでは、半導体プロセスを用いて構成するメリットが半減し、集積、回路接続、基板相互の位置合わせなどの煩雑な工程が必要となり、また、小型化が難しくなる。

【0008】本発明は、上記事情に基づいてなされたもので、その目的は、単一の基板に、3次元的に複数の半導体リングレーザの構造を組み込んだ、3次元リングレーザ装置、および、これを用いたジャイロ・コンパスを提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】このため、本発明では、三次元的表面を有する半導体基板に形成された、互いに交差する複数の結晶面（平面）において、それぞれ、半導体リングレーザを構成すると共に、前記半導体リングレーザを駆動あるいは信号処理する電子回路を、前記半導体基板に集積・形成していることを特徴とする。

【0010】この場合、本発明の実施の形態として、前記半導体基板が、球体、多面体、あるいは、これに準ず

る形態のSiで構成されており、その(111)面あるいは／および(100)面に等価な面において、前記結晶面が形成されており、前記結晶面に、少なくとも1つの半導体リングレーザが形成されていることは、有効である。

【0011】また、前記半導体リングレーザの構成材料の一部に、GaAs、GaInAs、AlAs、GaInAsPなどのIII-VN半導体材料(III族およびV族からなる化合物材料の内、V族材料としてN(窒素)を含む材料)を使用することは、好ましい実施の形態である。

【0012】また、本発明での、上述の3次元リングレーザ装置を用いて構成されたジャイロ・コンパスは、複数の結晶面上に構成された半導体リングレーザ相互の傾きによって、3次元方位を検出するように構成されている。

【0013】以上の構成において明らかにされたように、本発明の最大の特徴は、Si球の表面に複数のリングレーザをICとともに集積して形成する点にある。このためには、3次元表面を有する半導体基板、例えば、Si球面上に格子整合する化合物半導体を積層させることが必要となる。

【0014】一般に、 $GaN_xAs_{1-x}$ に代表されるIII-VN材料は、 $x=0.2$ 程度でSiと格子整合する。また、順次、窒素組成を下げて行くことで、GaAsに格子整合させることができる。この場合には、従来の、平面基板におけるAlGaAs系の半導体レーザ構造および製法を、そのまま採用することができる。

【0015】また、前記III-VN材料は、 $0.03$ 程度で $1.3\mu m$ 程度の波長の光を発する活性層となり得る。従って、既に知られる製法において、1つのSi球面上に(111)あるいは／および(100)面に等価な面で、複数の結晶面が形成でき、個々に独立した複数の半導体リングレーザを集積・形成できる。また、球面の空きスペースに、前記半導体リングレーザの駆動回路および信号処理回路を集積することで、1個の、立体的な半導体基板、例えば、Si球で、回転ジャイロの全ての機能を集積することができる。

【0016】なお、一つの立体的な、例えば、球状の半導体基板上に、(111)面および(100)面に等価な、2種類の面に半導体リングレーザを作り込むことも、理論上、可能であるが、現実の製法では、一般に、その結晶面によって、結晶成長速度が大きく異なるので、全体を一括して、結晶成長させることは困難である。そこで、結晶的に等価な、例えば、(111)面や(100)面などの、等価な面に半導体リングレーザを形成する方が、より好ましいことになる。

【0017】更に、レーザ装置として、シリコン球面上に半導体リングレーザを有する構造や、これを用いたジャイロ・コンパスを提供することは有効である。

【0018】

【発明の実施の形態】(第1の実施の形態)図1は本発明に係る第1の実施の形態を示す模式図である。なお、この実施の形態では、三次元表面を有する半導体基板として、球形のシリコンボール(以下、Si球と称する)を例示しており、また、半導体リングレーザを作り込むために、その三次元表面に形成された、互いに交差する複数の結晶面(平面)には、(111)面に等価な面を用いている。

【0019】図中、101は直径が約1mmのSi球であり、102は(111)面に等価な結晶面、103および104は、その結晶面に形成された光デバイス(半導体リングレーザ)および電子デバイス(CMOSドライバなど)である。

【0020】また、105は、それらデバイスを結合する電気配線であり、Si球101の表面に配置されている。また、107は、ジャイロ・コンパスに、本発明の3次元リングレーザ装置を実装するためのプリント基板である。

【0021】以下、その製造工程について説明する。Si球の製造には、従来公知の手法が用いられるが、例えば、その手法の一つとして、粒状多結晶Siを2mm内径のパイプの中に入れて溶融し、ほぼ球形の単結晶にして、その後、ボールベアリングを作成する要領で、その単結晶の表面研磨を行い、直径:1mmの真球とすることで、Si球を構成する。

【0022】次に、パイプの中を通して、酸化や拡散プロセスを行う。即ち、Si球の表面に対するパターン焼き付け(電子デバイス104、電気配線105など)は、例えば、特開平10-294254号公報や特開平11-54406号公報に開示されている方法で、実現可能である。ここまでの工程で、半導体リングレーザを組み込むためのSi球ICが完成する(図2を参照)。

【0023】次に、Si球ICの作成プロセスがほぼ終了した後、結晶面102上に上述の光デバイス102を作成する。まず、球全体を窒化膜301などでカバーし、光デバイス102の作成部分を、平面に研削、研磨およびポリッシングする(図3を参照)。ここで、Si球101の表面を窒化膜で覆うのは、光デバイス作製(結晶成長)中、電子デバイス104などを保護するためと、選択成長用マスクとして使用するためである。なお、ここでは、一辺が約50 $\mu m$ 程度の3角形の(111)面およびこれと等価な面(全部で8面)302を用いている。

【0024】また、必要であれば、ここで、再び、窒化膜などで、Si球の表面全体を覆った後、光デバイス102の作成領域のみに窓を開けるようにしてもよい。図4はこの光デバイス作成領域の形成工程後の、Si球(光デバイス作成領域)の断面図である。

【0025】次に、光デバイスの結晶成長について説

明する。これは、本発明者が先に提唱した「光融合デバイスの構造およびその製造方法」(特願平11-136515号)において詳細に述べられている。この要点を述べると、光デバイスを、(100)面や(111)面において結晶成長するのに、Si基板上に、誘電体などからなる選択成長用マスクを形成し、Siとは格子定数の異なる第1のIII-VN材料からなる薄膜を成膜した後、第1のIII-VN材料より長い格子定数を有する第2のIII-VN材料、第1のIII-VN材料より短い格子定数を有する第3のIII-VN材料からなる多層薄膜を、歪み補償しながら積層し、その間、前記選択成長用マスク上を横方向成長することで、前記第1のIII-VN材料と等しい格子定数を持つ結晶面において、第4のIII-VN材料からなる膜を成長し、その上に所要の光デバイス構造を積層するのである。

【0026】なお、第1および第4のIII-VN材料として、GaAs(あるいは、InP)に格子整合するGaInNAs(あるいは、GaInNAsP)を、第2および第3のIII-VN材料として、GaAsおよびAlNAs(あるいは、InNAsおよびInNP)を用い、また、これらの結晶上にAlGaAs/GaAs(あるいは、AlInNAsP/GaInNAsP)からなる多層膜を反射ミラーとし、第5のIII-VN材料(あるいは、特に、AlInNAsP)を主たる活性層材料とするレーザ構造を積層するのがよい。

【0027】具体例として、図5に示された光デバイスの形成には、ガスソースMBE法あるいはMOCVD法が用いられる。ここでは、光デバイス作成の選択領域のみに、 $\text{Ga}_x\text{N}_{1-x}\text{As}$ をバッファ層501として積層する。そして、GaAsに格子整合するように、窒素組成Xを0.2から0まで、徐々に変化させた。その後、 $\text{n-AlGaAs}$ をクラッド層502、 $\text{AlGaAs/GaAs}$ をMQW(多重量子井戸)活性層503、 $\text{p-AlGaAs}$ をクラッド層504、更に、 $\text{p-GaAs}$ をコンタクト層505として、順次、積層する。

【0028】次に、図7に示すように、正電極701を形成した後、ホトリソ技術により、半導体リングレーザの導波路マスクパターン702を作成する。なお、この実施の形態では、共振器の形状を三角形(図6に模式的に示す)とし、各コーナに垂直ミラーを配置している。また、光導波路幅は、基本横モード導波が可能のように $4\mu\text{m}$ としている。また、マスク材には、高精細パターンが得られるように、Deep UVネガレジストを用いた。そして、図8に示すように、ドライエッチングにより、所望の深さまでエッチングを施した。ここでのエッチングには、RIE(Reactive Ion Beam Etching)を用いており、ECR(電子サイクロトロン共鳴)パワー:120W、引き出し電圧:350Vの条件で行った。そして、エッチング深さは、バッファ層に完全に達するまでとした。

【0029】引続き、負電極703を所望の位置に形成し、不必要な窒化膜を除去し、ICの電極と配線した。なお、ここでは、必要に応じて、ボールICと実装用の配線基板107を、電極106および108を介して、接続する(図1を参照)。この接続方法は、通常のフリップフロップ実装に準じた方法でよい。

【0030】次に、上述の半導体リングレーザ(図6に示すリング共振器601)の動作原理について説明する。なお、符号602はコーナーミラーである。電子デバイス(電子回路)104から供給されるキャリアは、正電極701および負電極703から注入され(図8を参照)、活性領域で再結合し、光子となり、導波モードを選択し、伝搬する。まず、厚さ方向では、通常のスラブ導波路の導波モードのみが選択される。横方向に関しては、導波路幅で決まる横モードが選択される。

【0031】図6において、左回り、右回り2本の発振モードに対して軸モードが存在する。左回りと右回りとして、全く対称な光導波路であれば、この2本のモードは、発振しきい値や波長は同一となる。この実施の形態においては、光の取出口を設けていないので、光は、完全に共振器内に閉じ込められるため、低電流で動作させることができる。なお、光導波路に非対称なテーパー領域を有していれば、右回りと左回りとして、発振波長を変えることができる。例えば、特願平12-003895号に、その記載がある。

【0032】このボールICを回転ジャイロとして使用する状況を、図9を参照して、以下に説明する。図において、901は、ボールICの1つの結晶面に形成された本発明の光デバイス、902は電流源あるいはアンプ、903は抵抗、904は電流対電圧特性の微分回路である。これらの電子回路は、前述したように、全て、同一のSi球上に集積したものである。

【0033】ここで、電流を上げることで、共振器が、発振しきい値に達すると、リングレーザモードで、2本のモードが、ほぼ同時に発振する。なお、この実施の形態では、光が外部に出ない半導体リングレーザのために、その発振を、通常のホトディテクタで確認することができないが、微分抵抗をモニタすることで、発振しきい値をモニタすることができる。即ち、発振するまでは、通常のダイオード特性であるが、発振後は、活性層内のキャリア密度が一定になるため、微分抵抗としては、キルクを生ずるので、発振について容易に判断できる。

【0034】前記半導体リングレーザを低電流駆動し、発振させた後、ボールICに回転がかかると、右回り、左回りのモードでは、光路差が生じ、これがビート信号として、電圧変化に現れる。通常、このビート周波数は、ボールICの回転数とリニアな関係があるため、これから、回転数を数値化することができる。なお、半導体リングレーザを低電圧駆動した場合は、ビート信号

が、電流変化として現れる。

【0035】更に、本発明では、図1のように、複数の半導体リングレーザを(111)面と等価な結晶面に形成している。例えば、(111)面と(-111)面では、約70度で、結晶面が交差する。即ち、(111)面上の回転軸と(-111)面上の回転軸が、この約70度の角度で交わるので、2軸の回転ジャイロが、1つのボールICに集積されているため、三方位に関して、回転方位を同時に知ることができる。換言すれば、それぞれの微分回路904からの信号を、同じSi球上の他のIC(信号処理回路)に転送することにより、回転速度と方位を同時に知ることができる。

【0036】なお、(111)面に等価な結晶面には、異なる構造の半導体リングレーザを集積してもよい。特に、そのSi球の回転検知範囲は、周回長に依存するため、周回長の異なる半導体リングレーザを集積することで、広い範囲の回転角を計測することも可能である。さらには、発振波長の異なる半導体リングレーザを集積することも、勿論、可能である。

【0037】このように、この実施の形態では、以下のような効果が得られる。(1) Si球上に、半導体リングレーザと、これを駆動および信号処理する電子回路とを、同時に集積できるため、小型化が容易で、しかも、低コストである。(2) 異なる回転軸の光ジャイロを1つのSi球上に集積できるため、ジャイロ・コンパスとして、回転方位を簡便に知ることができる。

【0038】(第2の実施の形態) 図10は本発明に係わる第2の実施の形態を示す模式図である。なお、この実施の形態では、三次元表面を有する半導体基板として、球形のシリコンボール(以下、Si球と称する)を例示しており、また、半導体リングレーザを作り込むために、その三次元表面に形成された、互いに交差する複数の結晶面(平面)には、(100)面に等価な面を用いている。また、活性層を、先述のAlGaAs/GaAs MQWから、GaInNAs/GaAsに変えることで、発振波長の長波長化を図っている。また、共振器の形状を矩形としている。なお、ボールICの作成は、第1の実施の形態と同様でよい。

【0039】また、光デバイス(半導体リングレーザ)の作成も、先述と同様に、Si球上での、ボールIC作成プロセスがほぼ終了した後、光デバイスを作成する手順である。即ち、Si球全体を窒化膜301などでカバーし、光デバイス作成部分を平面に研削、研磨およびポリッシングする。ここでは、一辺が約20μm程度の矩形平面として、(100)面およびそれに準ずる面(等価な面(100)、(010)、(-100)、(0-10)の、全部で4面)302を用いている。

【0040】なお、先の第1の実施の形態と同様に、必要であれば、再び、窒化膜などで全体を覆った後、光デバイスの作成領域のみに窓を開けるとよい。

【0041】また、結晶成長には、ガスソースMBE法あるいはMOCVD法を用いる。ここでは、選択領域のみにGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>As<sub>1-x</sub>をバッファ層501として積層する。この時の格子定数は、クラッド層および活性層の条件に応じて適宜選ばばよい。ここでは、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Asに格子整合するように、その窒素組成Xを0.2から0まで徐々に変化させた後、Inの組成を徐々に変化させながら、更に、InGaAsを積層している。

【0042】この後、n-InAlGaAsのクラッド層501、GaInNAs/InAlGaAs MQW(多重量子井戸)活性層(発光波長1.3μm)502、p-InAlGaAsのクラッド層503、および、p-InGaAsのコンタクト層504を、順次、積層する。その後の工程は、先の第1の実施の形態と同様であり、その動作原理および使用方法も、ほぼ同様である。

【0043】この実施の形態では、以下のような効果が得られる。

(1) 発振波長が1.3μmであることから、Siのバンドギャップに対して、透明波長であるため、Si球に吸収されないので、バッファ層やクラッド層を薄くできるメリットがあり、低コスト化に効果的である。

(2) 発振波長が1.3μm(バンドギャップ:0.95eV)であるため、駆動電圧を小さくでき、低電圧の駆動CMOS(たとえば1.5V)でも、十分に駆動でき、低消費電力動作が可能となる。

(3) 回転軸が完全に90度ずれるため、回転方位を簡便に知ることができる。

【0044】なお、上述の両実施の形態では、3次元表面を有する半導体基板として、球形状のものを例示しているが、その製造上の幾つかの問題を解決すれば、球形に準ずる形態、20面体などの多面体、あるいは、これに準ずる形態などにおいて、互いに交差する所要の結晶面(複数)について、それぞれ、半導体リングレーザを形成し、また、それらの駆動回路、信号処理回路などの電子回路を前記半導体基板に、作り込むようにしても良いことは勿論である。

【0045】

【発明の効果】本発明は、以上詳述したようになり、立体的な半導体基板、例えば、Si球上に、互いに交差する複数の結晶面について、半導体リングレーザを形成すると共に、この半導体リングレーザを駆動および信号処理する電子回路を、同時に集積できるため、小型化が容易であり、かつ、低コストが実現できる。また、この三次元リングレーザ装置を用いることで、異なる回転軸の光ジャイロを1つの基板に集積できるため、回転方位を簡便に知ることができる。

【0046】また、要すれば、発振波長に、Siの透明波長(たとえば1.3μm)を選ぶことにより、Siの

半導体基板、例えば、Si球に吸収されないので、バッファ層やクラッド層を薄くでき、低電圧動作が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を説明する模式図である。

【図2】同じく、その作成過程での、Si球上のボールICの模式図である。

【図3】同じく、結晶面を示す模式平面図である。

【図4】同じく、結晶面の模式断面図である。

【図5】同じく、結晶面上での共振器（半導体リングレーザ）の作り込み過程を示す模式図である。

【図6】同じく、前記共振器の作り込み過程を示す模式平面図である。

【図7】同じく、前記共振器の作り込み過程を示す模式断面図である。

【図8】同じく、前記共振器の作り込み終了時の模式断面図である。

【図9】同じく、前記共振器およびその駆動、信号処理回路の構成図である。

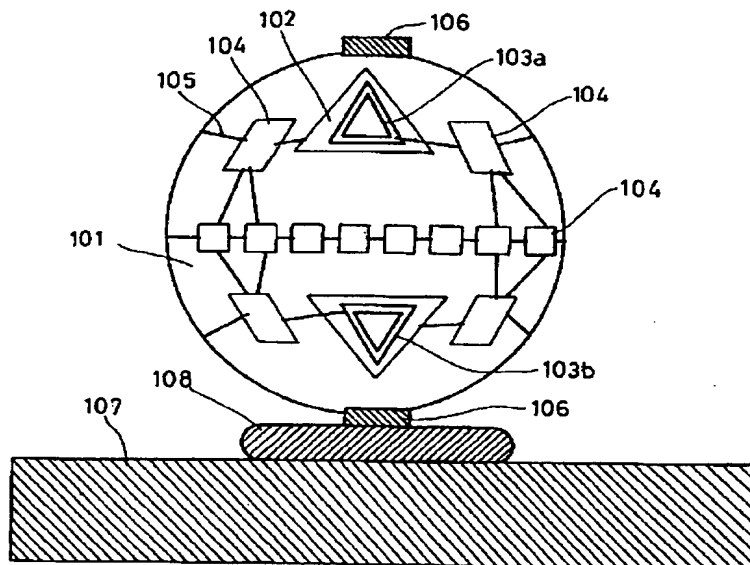
【図10】本発明の第2の実施の形態を説明する模式図である。

【図11】従来例の平面基板上での共振器の模式図である。

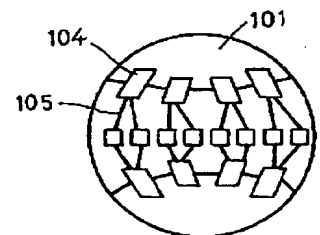
【符号の説明】

101	Si球
102	結晶面
103	半導体リングレーザ
103a、103b、103c	リングレーザ
104	電子デバイス（電子回路）
105	電気配線
106	実装用電極
107	プリント基板
108	配線電極
301	窒化膜（マスク）
501	バッファ層
502	クラッド層
503	活性層
505	コンタクト層
601	リング共振器
602	コーナーミラー
701	電極（正電極）
702	マスク
703	負電極
901	リングレーザ
902	アンプ
903	抵抗
904	電圧微分回路

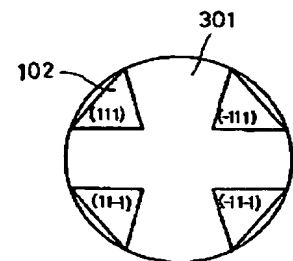
【図1】



【図2】



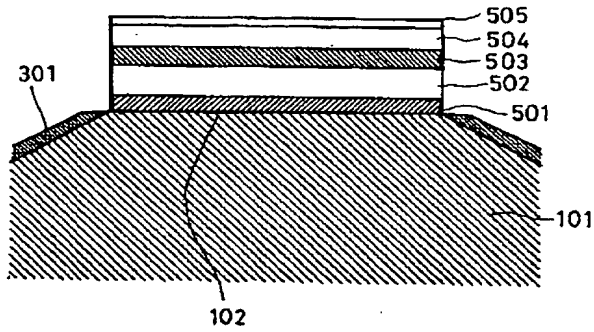
【図3】



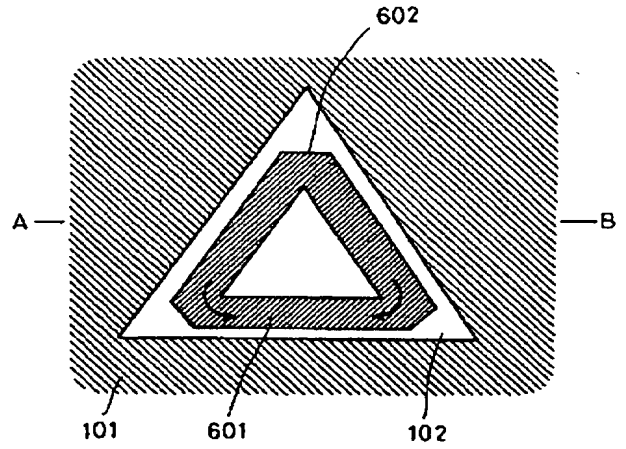
【図4】



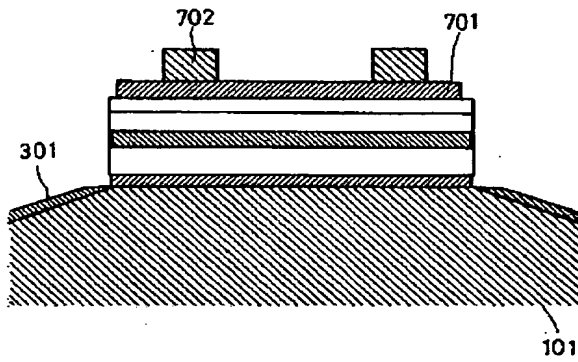
【図5】



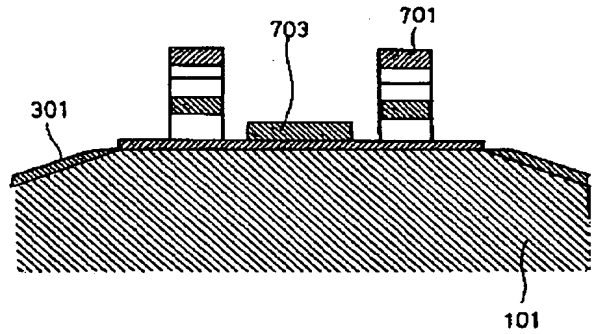
【図6】



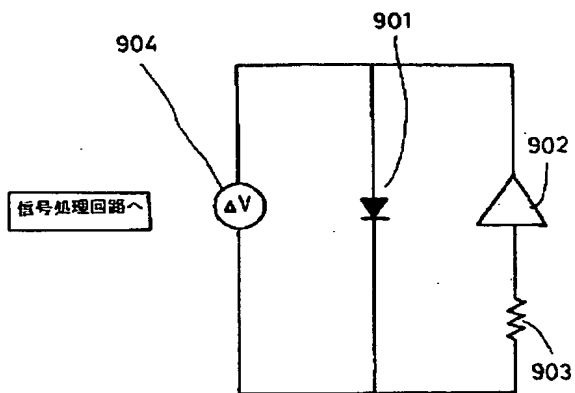
【図7】



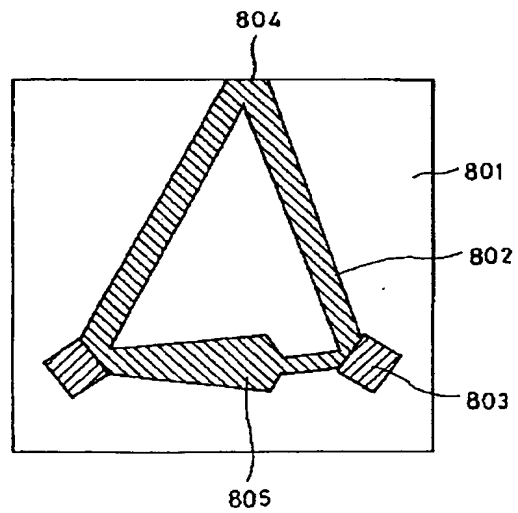
【図8】



【図9】



【図11】





【図10】

